

情報化視点でのトヨタ生産方式の考察

Consideration of the Toyota Production System from information viewpoint

黒岩 恵

Satoshi KUROIWA (skuro@mb.ccnw.ne.jp)

電子商取引推進協議会企画部会長

九州工業大学大学院情報学部講師

要約：

トヨタ生産方式（TPS）は、その基本理念である「お客様第一」と二本の柱である「ジャスト・イン・タイム」、「自動化」を遵守しながら、IT（情報技術）により進化しつつある。ここでは、TPSを「人間・機械系による生産システム」、人（右脳と左脳による情報処理するコンピュータ）と組織（複合したコンピュータアーキテクチャ）から成る人間系と機械系（情報システムおよびITで制御される自動化設備）によって実現する生産の仕組みと捉えて考察する。

キーワード：

IT（情報技術）、トヨタ生産方式、かんばん方式、ジャスト・イン・タイム、PULL&PUSH、自律分散システム、人間・機械系

はじめに

トヨタ生産方式（以下 TPS）の目指すところは「常にあるべき姿を目指して改善しつづける人と組織を創りあげること」に帰着する。本稿では、IE的視点ではなく、情報処理、制御技術を含めたIT化、情報化視点でTPSを考察している。Controlは人間系では「管理」、機械系では「制御」と訳出し、Communicationは人間系では「情報伝達」、機械系では「通信」と訳出する。ビジネス活動は人間系と機械系（IT化も含む）で成り立ち、情報化視点に立てば、人間系と機械系による情報加工力が競争力の源泉である。これからの企業経営には

両者のシナジー効果を生かすことが重要であり、TPSの進化はその代表例の一つであろう。

1 何がTPSのあるべき姿なのか

モノを生産し、それが顧客に届く流れの中で、大きく分けると、発散型と収斂型に分かれる。前者の例は鉄の様なプロセス産業であり、後者は組立産業である。自動車産業では、多種多様な素材から部品になり1台の車に収斂し、それぞれの車は最終顧客へと発散する。全で一連の発散と収斂を繰り返す流れ、すなわち加工・組立・物流プロセスの流れの中で新たな付加価値を付け、その代価としてビジネス活動が行われる。「よどみに浮かぶうたかたは、かつ消えかつ結びて久しく留まるためし無し」という方丈記の1節にある様に、素材、部品から1台の車に完成される過程で、「よどみ」や「うたかた（泡沫）」、すなわち材料や部品の滞留は自然の摂理に反している。そして物の滞留は、それぞれの付加価値を付けるプロセス（生産、物流、販売など）での資本回転率、キャッシュフローを悪くする。TPSのあるべき姿とは、全体の系とそれぞれのプロセスで「顧客の引きに応じた流れをいかにして構築するか」、という問題に帰着する。

自動車産業のあるべき姿の追及は、離散（discrete）系の加工・組立プロセスを鉄の圧延プロセスのような連続（continuous）系に近づけるアプローチである。しかし、現実の自動車生産プロセスでは、エンジンプロックな

どの鋳物溶解炉、プレス加工、樹脂成形などで中間材や部品のストックを持つバッチ生産やロット生産工程もある。良いものを安く早く、という物づくりの基本である QCD (Quality, Cost, Delivery)を維持する現状技術の最適解（と関係者は思っている）の中で現実としての生産プロセスが成り立っている。しかし、自動車生産工程における究極の姿は何か。プレス加工を例にとれば、一台のプレス機や成形機で、全ての車種の部品を1個ずつ、顧客の引きに応じてプレス加工することであり、一本のコンベアラインに全ての車種を流して組立てることである。前者はプレス型の型交換の段取時間を短縮し、10分未満にしたシングル段取りやワンタッチ段取りという言葉で実践されてきた。後者では、技術レベル、設備投資金額や生産ラインの複雑さの中で、一つの組立ラインで数車種を組み立てる混流ラインが構成されている。しかし、生産工程を現状で満足するか、さらにワンランクアップするかは人の創意と改善・改革意欲に掛かっている。リエンジニアリングという言葉が90年前後から米国で広まり、日本的改善より改革を強調したが、「改善無ければ改革無し」はトヨタのモットーである。

2 人が主役の組立産業

プロセス産業を中心とする連続系のプロセスに比べて組立産業を中心とする離散系のプロセスは生産工程の中で人間系の占める割合が多い。組立ラインの自動化への取組みは進められてきたが、人の五感を必要とする高度な組付け作業は人に残され、自動化し易い組付け部位のみが自動化される。その結果は、機械が主役で人は脇役となり、働く人の疎外感を生み、人の改善意欲や生産性を低下させた例も多い。バブル崩壊後のトヨタでは、「トヨタ生産方式の原点」すなわち、人中心の生産システムへ回帰した。人にやさしい生産システム、人と機械の協調・調和した生産シス

テムとは、生産現場においても主役は人ということ再認識させたのである。

80年代の米国における自動車組立作業者が、ロボットと同じように「言われた事だけをやれば良い」とする人間性悪説に立った現場管理と、創意工夫や改善意欲を奨励する人間性善説に立った日本的現場管理による生産性の彼我の格差が、日本の自動車産業をして米国車を凌駕させた。90年代米国が日本的経営、日本的現場管理を取り入れ、彼らの得意とするITの活用で、近年の日米の生産性格差はほとんど無い。万国共通に「人の尊厳を認め、人を大切にすること」事が生産性を高める原点であることを筆者も実感したものである。

人の五感を代替する技術、ナノテクやITなどの技術革新と経営判断で、組立ラインの自動化は進展していくかも知れない。しかし、機械が主役の装置産業ならいざ知らず、人間・機械系の組立ラインでは、人（右脳と左脳を持ったコンピュータ）と機械（左脳としてのコンピュータ）が共存し、人というコンピュータ（主として右脳）を活性化し、個人の持つ“気”（やる気、元気、活気、志気など）のアップを図る仕組みづくりが重要である。

3 ジャスト・イン・タイムと自動化

TPSの二本の柱は「ジャスト・イン・タイム」と「自動化」である。後者は“動”という字でなくニンベンのある“働”という字に意味がある。言葉の由来は多くの文献で書かれており割愛するが、筆者に言わせれば「動くだけで働いていない人が多い」、「物を動かすことは付加価値ではなく、加工や組立という価値を付けなければ働きでは無い」である。筆者の英語の訳出では、「自動化」を自律化すなわち“autonomy”あるいは“autonomous automation”としている。そしてTPSのシステム構造をオーケストラの様な構造、アーサー・ケストラーの“ホロニクス”、すなわち全体と個の調和で成り立つシステムとして説明して

きた。オーケストラという全体は、指揮者や個々の奏者で成り立つ。そして TPS を先輩の黒須（現トヨタ OB）とともに調和型自律分散システムと命名した。80 年代に現在の欧米仕込みの ERP、SCM、CRM などの 3 文字用語と同じように、IT を使い生産システム改革の切り札として CIM（Computer Integrated Manufacturing）という言葉が生産システム関係者の話題に上った。CIM に対して、TPS は HIM（Human Integrated Manufacturing）である。ビジネス活動の主役が機械系（コンピュータ）という風土と人（というコンピュータ）で成り立つ日本の経営環境の相違を実感したものである。

TPS はエンジニアリング業務、管理業務に関わる人、直接生産に関わる人や組織など、個々の自律システムで構成される。自律システムの向上は、5 S（整理、整頓、清掃、清潔、躰）や地球環境対応の 5 R（Refine, Reduce, Reuse, Recycle, Retrieve）という現場環境づくり、徹底したムダの排除という、全てのものづくり現場に共通する基本にあり、「ものづくりは人づくり」という考え方に帰着する。「なぜ、なぜを 5 回繰り返せ」という真因の追究、「工程内での品質の造りこみ」、「目で見る管理」、「現地現物」など TPS で言い伝えられた言葉は、全て自律分散した個としての人や組織を対象にし、「かんばん」や「アンドン」などは自律した個に現場の運用を委ねる道具である。

トヨタ流の和製英語である「ジャスト・イン・タイム」とは「必要なモノを必要な量、必要な時に造り、運ぶ」という物づくりにおける重要かつ基本的コンセプトである。多くの部品から構成される離散系の自動車生産プロセスでは、各工程の繋ぎに付加価値を生まない運搬や搬送という人間系と機械系が介在し、さらに人間系が大きな比重を占める組立工程などで構成される。多段工程における物の流れを制御する情報システムが「かんばん

方式」である。「ジャスト・イン・タイム」は平準化と 100%良品が流れる、という前提で成り立つ。「品質は工程で造りこむ」ための工夫、品質確保や部品、設備のコスト低減、職場安全など現場の QC 活動や工場スタッフを巻き込んだ SQC、TPM などの諸活動が展開される。現場作業者に委ねられたラインストップは、品質や作業性を含め「問題の顕在化」により、関係者の知恵を結集した改善への取り組みを意味している。TPS で言われてきた「倉庫を持たない」、「多回納入」などの意味は、流れを阻害する要因の排除、流れの無い仕組みの流れにする、という意味である。また、工程間搬送などの付加価値を生まない工程は、必要悪として最小にする、すなわち「工程短縮」も、あるべき姿へのアプローチである。

4 情報システムとしてのかんばん方式

トヨタのかんばん方式は、TPS の基本的理念である「お客様第一主義」、「後工程はお客様」を実現するために、IT が進展していない時代のデマンドチェーン（Demand Chain）の仕組みである。TPS の基本は引き（Pull）による生産であり、市場の動向などを予測した押し（Push）では無い。お客様の実需に応じて生産計画を立て、車両組立工場に平準化を基本として生産順序が計算され組立指示される。3000 点前後の社内の部品加工工場や仕入先からの納入部品で構成される組立ラインで、車に組み付けられ消費された部品（部品パレットなど）に取り付けられたかんばんを外す。その情報が外れかんばん、すなわち部品引取かんばんとして内製工場や部品仕入先（デンソー、アイシンなど）に伝達される（伝統的には部品納入の返り便によるかんばんの持ち帰り）。その情報で仕入先の出荷場から部品が納入され、出荷場の外れかんばんが部品生産の情報となる。引取かんばんには、かんばん枚数、収容数、かんばんサイクル、受入場、出荷場など運用に伴う約束事（制御パラメー

タ)が記載されている。かんばん方式では、約束事(制御パラメータ)の決定は人間・機械系を中心に、運用は人間系による離散系の制御システムを構築している。かんばん方式は Pull 生産を実現する道具であり、機械系と人間系で運用される、離散系のサプライチェーンを制御する情報システムである。人間系を中心にしてきた過去の伝統的かんばん方式は IT 化の進展で道具としては進化している。その主な要因は組立ラインで混流する車種・車型の増加や生産変動に伴い人による情報処理の問題である。すなわち、生産変動に伴うかんばんの約束事(制御パラメータ)の変更、かんばん回収やかんばん枚数の増減など、運用の難しさと運用負荷の増大である。

TPS の基本理念である「お客様第一主義」、二本の柱である「ジャスト・イン・タイム」と「自動化」は、製造業だけでなく、全ての産業に共通するビジネス活動の基本として時代が変わり、IT などの技術革新が進んでも受け継がれるべき理念であろう。進化する面は人間系の特性、すなわち人と組織の持つ弱さを機械系でカバーして強さを引き出す、という点である。ムーアの法則、ギルダールの法則などで言われるように IT は 25 年間で 1 万倍に進化した現在、IT を有効に活用しない手はない。しかし、IT が進化し、FA 化が進んだとしても生産活動の全ては人が基本であり、機械系としての設備や IT は道具でありイネーブラに過ぎない。ほぼ全面的に自動化された機械系中心のプロセス産業や装置産業ならいざ知らず、離散系の組立産業では、人を高度な知的ロボットと見るか、人を主役として、人の持つ強み(改善意欲など)を引き出し、弱み(疲れやミスなど)を機械系でカバーするかで生産性の違いが出てくる。

5 PULL と PUSH

TPS では、最終顧客が車を発注する情報の引き(PULL)情報により、前工程である営業

部門、生産計画部門、生産工場へと情報が流れ、車両組立ラインでの部品の引きにより社内部品工場や部品仕入先から部品を引く、素材材や中間材においても同様の PULL 方式が原則である。PULL システムを実現する手段としてかんばんという情報媒体を使ったかんばん方式が確立された。TPS が世間一般の生産管理方式と異なる点は、PULL 方式にこだわった PULL&PUSH 方式という点である。TPS では PUSH は内示情報として適用し、基本は PULL という実需に合った生産計画で工程を繋ぎ、工程間、工場間、部品仕入先間で情報としてのかんばんチェーンにより、素材から完成車まで、PULL 情報を基本にしたサプライチェーンを構成する。

「ジャスト・イン・タイム」を別の言い方をすれば、「車やユニット(エンジンなど)の組立に必要な構成部品で、一点でも欠品があれば他の全ての部品を組立ラインに集合することを阻止する」ことになり、MRP などの例にみられる集中型の IT システムでは実現困難である。TPS が人間・機械系による調和型自律分散システムと定義した由来は、この点からも理解できよう。しかし、かんばんを使った PULL システムは、車や部品の生産活動において、「次も同じ車や部品を造る」、という前提で成り立っており、生産台数が大きく変動しなければ、量や種類の変動は、かんばんの回転速度とかんばんの種類の変化で自律的に制御される。かんばん方式による PULL システムの究極は、全て収容数(パレットなどに収容する部品の数)を 1 として、外れたかんばん(1 個の部品について)に従って 1 個ずつ部品がライン側に集まってくる姿である。

加工・組立という多段工程の離散系ではあるが、連続系の制御論から言えば、かんばん方式は線形制御のフィードバックループを構成する。部品使用量が多ければ、かんばんは速く外れ、それに対応する部品がライン側に使われた量だけ納入され、部品使用量が少な

ければ遅く納入され、制御系として安定である。しかし、変動が多ければ、制御系は不安定で、部品の使用量に安定追従できない。かんばん方式の制御パラメータとしての部品収容数やかんばんサイクル、運搬のリードタイムなどで、制御システムとしては安定しない。部品使用量が多い時に同じ部品の納入量が少なく、少ない時に多く納入される、というハンチング、振動現象あるいは制御論的には位相空間におけるリミットサイクルを描くことになる。かんばん方式の運用には、月間あるいは日々の生産台数の変動に追従するために、予め生産計画から計算される量のかんばん枚数の増減を人手で実施しなければならない。制御系から言えば、安定性のある線形制御を日々の運用で実施し、即応性のある非線形制御を月度や日に一度適用する。前者が PULL であり、後者が PUSH である。日々の運用はかんばんによる PULL 方式、月度内示や日次内示は即応性の PUSH 情報で実施する PULL&PUSH システムという事ができる。現行のかんばん方式では、PUSH 情報として与えられる内示情報から、実際に部品を引く PULL 情報には乖離が多ければ、却ってかんばんが悪さを助長する（振動現象）。トヨタでは長年の経験知から、内示と実需の乖離を 10% 以内にする努力がなされてきた。すなわち、かんばん方式による PULL 生産を安定的に運用するためには、生産・物流の平準化が前提である。平準化は、部品使用量と種類の平均化、作業の平準化、経営資源の平準化などを意味する。「ちよろ引き」、「多回納入」、「一個流し」、「混流ライン」「多能工」などの言葉は平準化を実現するための現場の手法例である。

6 人と IT による生産システムの進化

離散系の生産システムで連続した流れを実現するとき、流れを乱す制御系としての外乱に対応しなければならない。「PULL 生産を

実現する道具」、「目で見る管理の道具」、「人による運用、改善の道具」であるかんばんの大きな役割の一つが離散系で重要な「ものと情報の一致」である。車両やエンジンなどのユニットの不具合による組付けラインからのハネ出し、再投入などで生産順序の変更への対応である。車両や部品での「ものと情報の一致」の道具として RFID タグは 10 年以上前から「リモート ID システム」との命名の下でエンジン組立ラインや車両の塗装ライン、組立ラインで適用されてきた。現在でも組立ラインへの生産指示は工場に分散配置されたコンピュータ（ALC システム）で与えられる。将来はエンジンや車両などに予め装着された RFID タグに組立ラインの先頭で予め生産する物（車両や部品）の仕様が書き込まれ、生産対象の物から、組立作業や組立設備に生産指示を与える筆者が理想としてイメージした調和型自律分散系が実現するであろう。そして車両生産工程、物流工程から、お客様に車が届けられ使用される過程で、補修サービスなどの履歴情報が車に装着された RFID タグに書き込まれ、いわゆる「車のゆりかごから墓場まで」を実現し、新車から中古車、廃車、リサイクルに至るトレーサビリティの実現される日は近い。

過去には本社に設置されたメインフレームによる機械系で、車両やエンジンの組立工場ではかんばん方式を中心とする人間系で生産情報システムは実現されてきた。80 年代後半からの生産環境の変化と IT 化の進展により、工場に分散配置されたコンピュータ（サーバ）による自律分散型の ALC へと生産情報システムは進化したのは言うまでもない。一方、かんばんシステムは近年の生産環境の変化と IT の効率的かつ効果的な活用という視点で、e-KANBAN や TOPPS (Toyota Parts Procurement Systems) という名称で進化し展開されている。

しかし、過去に CIM を導入した社外のいくつかの事例で見られた、ビジネスプロセス、

工程の悪さをIT化が隠蔽してしまう愚かさは避けなければならない。ビジネスプロセス、生産工程の改善、改革があつてのITの導入である。ビジネスプロセスや生産工程に無知なIT屋、ITに無知な管理者や計画スタッフ、このギャップはなかなか埋まりそうにないし、この事実が今後も様々な問題を起すであろう。TPSを生かし成長させたトヨタの基本は「人は最大の資源」とし、個人としての組織細胞の活性化のためにコミュニケーションを重視し、問題意識の共有、仲間意識の醸成、改善意識の高揚を図るとした、人と組織の活性化にある。ビジネス活動は人間・機械系で成り立つ。生身の人間のやる気、元気、志気などの“気”をアップし、「あるべき姿への改善意欲」をエンカレッジ(encourage)、し、人間の弱い部分を機械系でカバーすることにより、人間・機械系のTPSは今後とも進化しエンハンス(enhance)されていくであろう。

おわりに

人や組織も右脳と左脳を持ったコンピュータとアーキテクチャであるという視点に立ちTPSを人間・機械系として考察した。長年システム工学の研究者として筆者はシステムの進化について、以下の4項目で類推してきた。すなわち、①「自然の摂理に従う」、②「歴史に学ぶ」、③「生態に学ぶ」、④「人間の性の悲しさ」である。①は「水は低きに流れる」、「エントロピーは増大する」を意味し、「TPSは流れを創る活動」である。②は「奢れる者は久しからず」や、ソ連邦やメインフレームによるヒエラルキー崩壊の例で理解できる。③は「コンピュータは人間の脳に近づける叶わぬ挑戦」、「ムカデやヒトデの自律分散系」を例に上げる。②、③とも、システムの将来像は調和型自律分散系とし、TPSは人間・機械系による調和型自律分散システムの一例である。最後の④は、人間・機械系で成り立つビジネス活動も人の欲望(支配欲など)や弱

さで改革には時間がかかる、を意味する。TPSはビジネス活動における当たり前のことを当たり前のやり方できちんとやってきた企業風土にある。しかし、当たり前のことをきちんとやれない、のも人間系の悲しさであろう。今後もビジネス活動や生産システムを人間・機械系として研究していく所存である。賢明な諸兄からご指導を頂きたい。

(参考文献)

1. 黒岩「製造業のITによる競争力向上」計測と制御 2003, 6 Vol. 42
2. 黒岩「情報システム高度化による自動車産業の転換」日本機械学会誌, 2000. 4, Vol. 103,
3. 黒岩「ジャスト・イン・タイムとかんばん方式」(第12章) 圓川ほか「生産管理ハンドブック」99年10月 朝倉書店

著者略歴:

1969年九州大学大学院工学修士課程終了後、トヨタ自動車(株)入社。ロボット、メカトロを含む生産技術開発、工場建設、LA、PA、FAに関わる大規模な情報システム構築に従事し、80年代後半からトヨタ生産方式の情報化を推進。1980年から10年間、エレクトロニクス、制御・情報などIT関連の全社教育の企画、教育講師を兼ねる。90年代中頃よりCALs、IMSなど通産プロジェクトに参画。

2000年より、東京本社に異動、電子商取引推進協議会や日本経団連などで団体運営やIT/EC関連の委員会活動に従事。2003年12月トヨタ自動車(株)退社。現在、ECOM企画部会長、九州工大大学院情報工学部講師、名古屋工大客員教授、「ものづくり、マネジメント、IT」に関わる非営利団体DEE21代表。愛知大、南山大講師、名古屋大客員研究員、経営情報学会東海支部長、理事を経験。